

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего профессионального образования  
«Томский государственный педагогический университет»  
(ТГПУ)



УТВЕРЖДАЮ  
Декан физико-  
математического факультета  
Е.Г.Пьяных  
\_\_\_\_\_ 2015 г.

КАНДИДАТСКИЙ ЭКЗАМЕН  
ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ 01.04.02 ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ФИЗИКА  
(ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ НАУКИ)

## Введение

В программу входят следующие дисциплины: механика, теория поля, электродинамика и механика сплошных сред, квантовая механика, статистическая физика, квантовая теория поля.

### 1. Механика

Уравнения движения. Обобщенные координаты, принцип наименьшего действия, функция Лагранжа. Симметрии. Теорема Нетер. Законы сохранения энергии, импульса, момента импульса.

Интегрирование уравнений движения. Одномерное движение, приведенная масса, движение в центральном поле.

Распад частиц, упругие столкновения. Сечение рассеяния частиц, формула Резерфорда.

Малые колебания. Свободные и вынужденные одномерные колебания, параметрический резонанс. Колебания систем со многими степенями свободы, полярные координаты. Колебания при наличии трения.

Движение твердых тел. Угловая скорость, момент инерции и момент количества движения твердых тел. Эйлеровы углы и уравнение Эйлера.

Канонические уравнения, уравнение Гамильтона, скобки Пуассона, действие как функция координат, теорема Лиувилля, уравнение Гамильтона—Якоби, разделение переменных.

Принцип относительности. Скорость распространения взаимодействий. Интервал. Собственное время. Преобразование Лоренца. Преобразование скорости. Четырехмерные векторы. Четырехмерная скорость.

Релятивистская механика. Принцип наименьшего действия. Энергия и импульс. Распад частиц. Упругие столкновения частиц.

### 2. Теория поля

Заряд в электромагнитном поле. Четырехмерный потенциал поля. Уравнения движения заряда в поле, калибровочная (градиентная) инвариантность. Тензор электромагнитного поля. Преобразование Лоренца для поля. Инварианты поля.

Действие для электромагнитного поля. Уравнения электромагнитного поля. Четырехмерный вектор тока. Уравнение непрерывности. Плотность и поток энергии. Тензор энергии-импульса. Тензор энергии-импульса электромагнитного поля.

Постоянное электромагнитное поле. Закон Кулона. Электростатическая энергия зарядов. Дипольный момент. Мультипольные моменты. Система зарядов во внешнем поле. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент. Теорема Лармора.

Электромагнитные волны. Волновое уравнение. Плоские волны. Монохроматическая плоская волна. Спектральное разложение. Поляризационные характеристики излучения. Разложение электростатического поля.

Поле движущихся зарядов. Запаздывающие потенциалы. Потенциалы Лиенара—Вихерта. Излучение электромагнитных волн. Поле системы зарядов на далеких расстояниях.

Мультипольное излучение. Излучение быстро движущегося заряда. Рассеяние свободными зарядами.

Движение частицы в гравитационном поле. Метрика. Ковариантное дифференцирование. Символы Кристоффеля. Действие для частицы в гравитационном поле.

Уравнения гравитационного поля. Тензор кривизны. Действие для гравитационного поля. Тензор энергии-импульса. Уравнения Эйнштейна.

Нерелятивистский предел уравнений Эйнштейна. Закон Ньютона. Центральное-симметричное гравитационное поле. Метрика Шварцшильда. Гравитационный коллапс.

Наблюдаемые эффекты ОТО в ньютоновом и постньютоновом приближении (гравитационное красное смещение, отклонение луча света, задержка сигнала, прецессия гироскопа, прецессия орбит планет). Гравитационные линзы.

Релятивистская космология. Открытая, закрытая и плоская модели. Закон Хаббла. Расширение Вселенной на радиационно-доминированной, пылевидной и вакуум-доминированной стадиях.

Физические процессы в ранней Вселенной. Закалка нейтрино. Первичный нуклеосинтез. Рекомбинация, реликтовые фотоны.

### **3. Электродинамика сплошных сред**

Электростатика диэлектриков и проводников. Диэлектрическая проницаемость и проводимость. Термодинамика диэлектриков. Магнитные свойства. Постоянное магнитное поле. Магнитное поле постоянных токов. Термодинамические соотношения. Диа-, пара-, ферро- и антиферромагнетики.

Сверхпроводники. Магнитные свойства. Сверхпроводящий ток. Критическое поле.

Уравнения электромагнитных волн. Уравнения поля в отсутствие дисперсии. Дисперсия диэлектрической проницаемости. Соотношения Крамерса—Кронига. Плоская монохроматическая волна. Распространение электромагнитных волн. Отражение и преломление. Принцип взаимности.

Электромагнитные волны в анизотропных средах. Эффекты Керра и Фарадея. Пространственная дисперсия. Естественная оптическая активность.

Магнитная гидродинамика. МГД-волны. Проблема динамо.

Нелинейная оптика. Нелинейная проницаемость. Самофокусировка. Генерация второй гармоники.

Ионизационные потери быстрых частиц. Излучение Черенкова. Рассеяние электромагнитных волн в средах. Рэлеевское рассеяние.

### **4. Механика сплошных сред и физическая кинетика**

Идеальная жидкость. Уравнение непрерывности. Уравнение Эйлера. Поток энергии. Поток импульса. Сохранение циркуляции скорости. Потенциальное обтекание тел: присоединенная масса, сила сопротивления, эффект Магнуса.



Вязкая жидкость: уравнения движения вязкой жидкости. Диссипация энергии в несжимаемой жидкости.

Переход к турбулентности. Неустойчивости ламинарных течений. Теория Ландау—Хопфа. Типы аттракторов. Странный аттрактор. Переход к турбулентности путем удвоения периодов. Развитая турбулентность. Спектр турбулентности в вязком интервале. Колмогоровский спектр.

Звук. Звуковые волны. Геометрическая акустика.

Одномерное движение сжимаемого газа. Характеристики. Инварианты Римана. Простая волна Римана. Образование ударных волн. Ударная адиабата. Слабые разрывы. Теория сильного взрыва.

Ударные волны слабой интенсивности. Уравнение Бюргера.

Звуковые волны со слабой дисперсией. Уравнение КДВ. Солитоны и их взаимодействие. Бесстолкновительные ударные волны.

Гидродинамика сверхтекучей жидкости. Двухжидкостное описание.

Кинетическая теория газов. Кинетическое уравнение Больцмана.  $H$ -теорема. Теплопроводность и вязкость газов. Симметрии кинетических коэффициентов. Диффузионное приближение. Уравнение Фоккера—Планка.

Бесстолкновительная плазма. Уравнения Власова. Диэлектрическая проницаемость бесстолкновительной плазмы. Затухание Ландау. Ленгмюровские и ионно-звуковые волны. Пучковая неустойчивость: гидродинамическая и кинетическая стадии. Квазилинейная теория.

Столкновения в плазме. Интеграл столкновений Ландау. Длина пробега частиц в плазме.

## 5. Квантовая механика

Основные положения квантовой механики. Принцип неопределенности. Принцип суперпозиции. Операторы. Дискретный и непрерывный спектры. Гамильтониан. Стационарные состояния. Гейзенберговское представление. Соотношения неопределенности.

Уравнение Шредингера. Основные свойства уравнения Шредингера. Одномерное движение. Одномерный осциллятор. Плотность потока. Квазиклассическая волновая функция. Прохождение через барьер.

Момент количества движения. Собственные функции и собственные значения момента количества движения. Четность. Сложение моментов. Разложение Клебша—Гордана.

Движение в центральном поле. Сферические волны. Разложение плоской волны. Радиальное уравнение Шредингера. Атом водорода.

Теория возмущений. Возмущения, не зависящие от времени. Периодические возмущения. Квазиклассическая теория возмущений.

Спин. Оператор спина. Тонкая структура атомных уровней.



Тождественность частиц. Симметрия при перестановке частиц. Вторичное квантование для бозонов и фермионов. Обменное взаимодействие.

Атом. Состояние электронов атома. Уровни энергии. Самосогласованное поле. Уравнение Томаса—Ферми. Тонкая структура томных уровней. Периодическая система Менделеева.

Движение в магнитном поле. Уравнение Шредингера для движения в магнитном поле. Плотность потока в магнитном поле.

Столкновения частиц. Общая теория. Формула Бора. Резонансное рассеяние. Столкновение тождественных частиц. Упругое рассеяние при наличии неупругих процессов. Матрица рассеяния. Формула Брейта—Вигнера.

## 6. Статистическая физика

Основные принципы статистики. Функция распределения и матрица плотности. Статистическая независимость. Теорема Лиувилля. Роль энергии. Закон возрастания энтропии. Микроканоническое распределение. Распределение Гиббса. Распределение Гиббса с переменным числом частиц.

Термодинамические величины. Температура. Работа и количество тепла. Термодинамические потенциалы. Термодинамические неравенства. Принцип Ле-Шателье. Теорема Нернста. Системы с переменным числом частиц. Свободная энергия в распределении Гиббса. Вывод термодинамических соотношений.

Термодинамика идеальных газов. Распределение Больцмана. Столкновение молекул. Неравновесный идеальный газ. Закон равнораспределения. Одноатомный идеальный газ.

Распределение Ферми и Бозе. Вырожденный идеальный ферми-газ. Свойства вещества при больших плотностях. Вырожденный бозе-газ. Конденсация Бозе—Эйнштейна. Равновесное тепловое излучение. Формула Планка. Светимость абсолютно черного тела.

Неидеальные газы и конденсированные среды. Фононные спектры и термодинамические свойства газа. Термодинамические свойства идеального классического газа.

Равновесие фаз. Формула Клапейрона—Клаузиса. Критическая точка.

Системы с различными частицами. Правило фаз. Слабые растворы. Смесь идеальных газов. Смесь изотопов. Химические реакции. Условие химического равновесия. Закон действующих масс. Теплота реакции. Ионизационное равновесие.

Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Квантовые вихри.

Твердые тела. Кристаллические структуры. Поверхность Ферми. Зонная структура. Квазичастицы.

Колебания решетки. Теория упругости. Звук в твердых телах. Процессы распада и слияния фононов. Рассеяние фононов на примесях. Кинетическое уравнение для фононов. Теплопроводность.

Сверхпроводимость. Куперовское спаривание. Теория Бардина—Купера—Шриффера (БКШ). Теория Лондонов. Теория Гинзбурга-Ландау. Ток, калибровочная инвариантность, квантование потока. Сверхпроводники первого и второго рода. Эффект Джозефсона.

Флуктуации. Распределение Гиббса. Флуктуации основных термодинамических величин. Формула Пуассона. Временные флуктуации. Симметрии кинетических коэффициентов. Флуктуационно-диссипативная теорема.

Фазовые переходы второго рода. Теория Ландау. Критические индексы. Масштабная инвариантность. Флуктуации в окрестности критической точки.

### **7. Теория конденсированного состояния**

*(Раздел для специалистов по теории твердого тела)*

Неидеальный бозе-газ. Симметрия волновой функции системы бозонов, бозе-конденсат. Слабонеидеальный бозе-газ. Модель Боголюбова. Спектр возбуждений. Сверхтекучесть. Двухжидкостное описание. Критерий Ландау. Теория Фейнмана. Квантовые вихри. Корреляции в положении частиц бозе-газа.

Типы и симметрия твердых тел. Кристаллические структуры. Симметрия кристаллов. Свойства обратной решетки. Зона Бриллюэна. Теорема Блоха.

Зонная структура и типы связи. Квазичастицы. Электронная теплоемкость.

Поверхность Ферми. Диамагнитный и циклотронный резонанс. Открытые орбиты. Квантование орбит. Эффект де Газа—ван Альфвена.

Колебания решетки. Теория упругости. Звук в твердых телах. Акустические и оптические ветви. Модель Дебая. Удельная теплоемкость решетки. Квантование фононов. Ангармонизм и тепловое расширение. Фактор Дебая—Уоллера.

Процессы распада и слияния фононов. Рассеяние фононов на примесях. Кинетическое уравнение для фононов в диэлектрике. Теплопроводность. Электрон-фононное взаимодействие и проблема полярона.

Магнетизм. Обменное взаимодействие. Магнитные свойства изолированного атома. Правило Хунда. Гамильтониан Гейзенберга. Модель Хаббарда. Природа магнетизма металлов. Спиновый парамагнетизм Паули и орбитальный диамагнетизм Ландау. Магнитные примеси в металле. Обменное взаимодействие через электроны проводимости (РККИ). Эффект Кондо.

Магнитный порядок. Ферромагнетизм и антиферромагнетизм. Метод среднего поля для ферромагнетика. Доменная структура. Гистерезис ферромагнетиков. Спиновые волны (магноны). Квантовые флуктуации и спиновые волны в антиферромагнетике. Вклад магнонов в термодинамику магнетиков. Динамика магнитного момента в ферромагнетике. Уравнение Ландау—Лифшица.

Сверхпроводимость. Куперовское спаривание. Теория Бардина—Купера—Шриффера (БКШ). Теория Лондонов. Нелокальная электродинамика сверхпроводника: лондоновский и пиппардовский случаи. Эффекты четности числа электронов в сверхпроводниках малых размеров.

Теория сверхпроводимости Гинзбурга—Ландау. Ток, калибровочная инвариантность, квантование потока. Сверхпроводники первого и второго рода. Верхнее и нижнее критические поля. Вихревая решетка. Эффект Джозефсона. Эффект близости.



Флуктуационные эффекты вблизи сверхпроводящего перехода. Туннельные эффекты в сверхпроводниках.

Функции Грина. Корреляционные функции. Термодинамический предел и квазисредние. Основные принципы диаграммной техники. Уравнение Дайсона. Вершинная функция. Многочастичные функции Грина. Диаграммная техника при конечных температурах. Кинетические уравнения.

Динамика критических явлений. Уравнения ренормгруппы.

Особенности электронных свойств систем пониженной размерности. Энергетические спектры и плотность квантовых состояний. Квантовый эффект Холла в двумерном электронном газе. Эффекты локализации электронов в одно- и двумерных системах, перколяционные явления.

## 8. Квантовая теория полей

*(Раздел для специалистов по теории элементарных частиц и физике высоких энергий)*

Квантование свободных полей. Симметрии лагранжиана и теорема Нетер. Алгебра токов. Дискретные симметрии. СРТ теорема и связь спина со статистикой.

Квантовая электродинамика. Правила Фейнмана. Перенормировки. Тождества Уорда—Такахаши.

Квантово-электродинамические расчеты: комптон-эффект,  $e^+$ ,  $e^-$  аннигиляция, рождение пар. Тормозное излучение и инфракрасная катастрофа. Аномальный магнитный момент электрона. Лэмбовский сдвиг.

Представление Челлена—Лемана. Формула Лемана—Симанчика—Циммермана. Аналитические свойства амплитуд рассеяния. Правила Кутковского. Правила Ландау для особенностей фейнмановских диаграмм.

Ренормгруппа.  $\beta$ -функция и аномальные размерности. Операторное разложение. Аномальные размерности составных операторов.

Калибровочные теории поля. Квантование по Фаддееву—Попову и духи. Тождества Славнова—Тейлора. Квантовая хромодинамика и асимптотическая свобода.

Спонтанное нарушение симметрии, теорема Голдстоуна, явление Хиггса.

Кварковая модель. Спектроскопия адронов и составляющие кварки. Чармоний, боттомоний.

КХД и киральная симметрия сильных взаимодействий. Частичное сохранение аксиального тока. Пионы как голдстоуновские частицы. Киральная аномалия Адлера—Белла—Джакива.

Стандартная модель. W- и Z-бозоны, их распады. Хиггсовский бозон. Поколения лептонов и кварков. Матрица Кабиббо—Кобаяши—Маскава.

$\beta$ -распад нейтрона, распад мюона, распады тяжелых кварков. Нелептонные слабые распады.



Нарушение CP-инвариантности. Осцилляции нейтральных каонов и тяжелых мезонов.

Глубоконеупругое рассеяние и партонная модель. Нарушение скейлинга и уравнения эволюции Грибова—Липатова—Докшицера—Алтарелли—Паризи.  $e^+$ ,  $e^-$  аннигиляция в адроны. Рождение адронных струй и существование глюонов.

Топологические свойства теории поля. Инстантоны. Монополи Хоофта—Полякова. Действие Новикова—Веса—Зумино—Виттена.

Вне стандартной модели: великое объединение, распад протона, осцилляции нейтрино.

Суперсимметрия. Суперполя. Суперсимметричные лагранжианы.

Формализм Беки—Руэ—Стора—Тютинга. Теоремы об отсутствии перенормировок.

Физика частиц и ранняя Вселенная. Космологические фазовые переходы. Темная материя, ограничения на свойства массивных нейтрино.

Фазовые переходы в КХД. Кварк-глюонная плазма.

### Основная литература

1. И.Н. Мешков, Б.В. Чириков, Электромагнитное поле, Часть I, Электричество и магнетизм, Москва-Ижевск, Изд-во РХД, 2013, 543 с.
2. М.Г. Иванов, Как понимать квантовую механику, Москва-Ижевск, Изд-во РХД, 2012, 496 с.
3. Давыдов А.С. Квантовая механика: учебное пособие для вузов/А. С. Давыдов.-3-е изд., стер.-Санкт-Петербург:БХВ-Петербург, 2011.-703 с.:(2)
4. И.Л. Бухбиндер, Релятивистская симметрия, Томск. Изд-во ТГПУ, 2012, 104 с.
5. И.Л. Бухбиндер, Модели теории поля, Томск. Изд-во ТГПУ, 2012, 78 с.
6. Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков, Квантовые поля, Москва, Физматлит, 2011, 382 с.

### Дополнительная литература

1. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика [Текст]: учебное пособие для вузов : в 10 т./Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского.-Изд. 5-е, стереотип.-М.:ФИЗМАТЛИТ.-(Теоретическая физика). Т. 1:Механика.-2007.-222 с.
2. Медведев, Б. В. Начала теоретической физики. Механика. Теория поля. Элементы квантовой механики : учебное пособие / Б. В. Медведев. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: Физматлит, 2007. — 600 с.
3. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика [Текст]=Теория поля: учебное пособие для вузов : в 10 т./Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского.-Изд. 8-е, стереотип.-М.:ФИЗМАТЛИТ.-(Теоретическая физика). Т. 2:Теория поля.-2006.-533 с.
4. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика [Текст]=Квантовая механика: учебное пособие для вузов : в 10 т./Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского.-5-е изд., стереотип.-М.:ФИЗМАТЛИТ.-(Теоретическая физика). Т. 3:Квантовая механика.-2002.-803 с.
5. Ландау, Лев Давидович, Лифшиц, Евгений Михайлович. Теоретическая физика=Электродинамика сплошных сред: Учебное пособие для вузов: В 10 тт./Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц; Под ред. Л. П. Питаевского.-4-е изд., стереотип.-М.:ФИЗМАТЛИТ.-(Теоретическая физика). Т. 8:Электродинамика сплошных сред.-2003.-651 с.
6. Ландау, Лев Давидович, Лифшиц, Евгений Михайлович. Теоретическая физика=Статистическая физика: Учебное пособие для вузов: В 10 тт./Л. Д. Ландау,

- Е. М. Лифшиц; Под ред. Л. П. Питаевского.-5-е изд., стереотип.-М.:ФИЗМАТЛИТ.- (Теоретическая физика). Т. 5, Ч. 1:Статистическая физика.-2001.-613,
7. Ландау, Лев Давидович. Теоретическая физика [Текст]=Физическая кинетика:учебное пособие для вузов : в 10 т./Л. Д. Ландау, Е. М. Лифшиц ; под ред. Л. П. Питаевского.-Изд. 2-е, испр.-М.:ФИЗМАТЛИТ.- (Теоретическая физика). Т. 10:Физическая кинетика / Е. М. Лифшиц, Л. П. Питаевский.-2007.-535 с.
  8. Румер, Юрий Борисович, Рывкин, Моисей Соломонович(Шоломович). Термодинамика, статистическая физика и кинетика:Учебное пособие/Ю.Б.Румер, М.Ш.Рывкин.-2-е изд.,испр. и доп.-Новосибирск:Новосибирский университет,2000.-608с.
  9. Гантмахер, Феликс Рувимович. Лекции по аналитической механике:[Учебное пособие для вузов]/Ф. Р. Гантмахер; Под ред. Е. С. Пятницкого.-3-е изд., стер.-М.:ФИЗМАТЛИТ,2002.-262 с.
  10. Дубровин, Б. А. Современная геометрия: методы и приложения / Б. А. Дубровин, С. П. Новиков, А. Т. Фоменко. — 5-е изд., испр. — М. : Эдиториал УРСС, 2001- Т. 1; Геометрия поверхностей, групп преобразований и полей. — 2001. — 336 с.
  11. Рубаков, Валерий Анатольевич. Классические калибровочные поля. Бозонные теории [Текст]/В. А. Рубаков.-Изд. 2-е, испр. и доп.-М.:КомКнига,2005.-294 с.
  12. Рубаков, Валерий Анатольевич. Классические калибровочные поля. Теории с фермионами. Некоммуникативные теории [Текст]/В. А. Рубакова.-Изд. 2-е, испр. и доп.-М.:КомКнига,2005.-236 с.
  13. Ансельм, Андрей Иванович. Основы статистической физики и термодинамики [Текст]:учебное пособие для вузов/А. И. Ансельм.-СПб.:Лань,2007.-426 с.
  14. Ансельм, А. И. Введение в теорию полупроводников : учебное пособие / А. И. Ансельм. — 3-е изд., стер. — СПб. : Лань, 2008. — 624 с.
  15. Блохинцев, Д. И.. Основы квантовой механики. / Д. И. Блохинцев. – М.: Наука, 1983. – 664 с.
  16. Пайерлс, Квантовая теория твердого тела / Пайерлс.- М.: Иностранная литература, 1956. – 259 с.
  17. Швебер, С. Введение в релятивистскую квантовую теорию поля / С. Швебер. – М.: ИЛ, 1963. – 842 с.
  18. Боголюбов, Н.Н. Введение в теорию квантованных полей / Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. – М.: Наука, 1976. - 479 с.
  19. Славнов, А.А.. Введение в теорию калибровочных полей / А.А. Славнов, Л.Д. Фаддеев. – М.: Наука, 1988. – 267 с.
  20. Хуанг, К. Статистическая механика. / К. Хуанг. М.: Мир, 1966. – 520 с.
  21. Дирак, П.А.М.. Принципы квантовой механики. / П.А.М. Дирак. – М.: Наука, 1979. – 479 с.
  22. Голдстейн, Г. Классическая механика / Г. Голдстейн. – М.: ГИТТЛ, 1975. – 416 с.
  23. Ольховский, И.И. Курс теоретической механики для физиков. / И.И. Ольховский. – М.: Наука, 1978. – 574 с.
  24. Коткин, Г.Л. Сборник задач по классической механике. / Г.Л. Коткин, В.Г. Сербо. – М.: Наука, 1969. – 238 с.
  25. Яппа, Ю.А. Электродинамика. / Ю.А. Яппа. – М.: Наука, 1978.
  26. Батыгин, В.В. Сборник задач по электродинамике. / В.В. Батыгин, И.Н. Топтыгин. – М.: Наука, 1970. – 502 с.
  27. Вайнберг, С. Гравитация и космология. / С. Вайнберг. – М.: Мир, 1975.
  28. Мизнер, Ч. Гравитация, тт. 1-3. / Ч. Мизнер, К. Тори, Дж. Уилер. – М.: Мир, 1977. – 474 с.
  29. Хоофт, Г. Введение в общую теорию относительности. / Г. Хоофт. - Москва-Ижевск: R&C Dynamics, 2002. – 95 с.



30. Хриплович, И.Б. Общая теория относительности. / И.Б. Хриплович. - Москва-Ижевск: R&C Dynamics, 2001. – 117 с.
31. Сборник задач по теории относительности и гравитации. / А. Лайтман [и др.] - М.: Мир, 1979.
32. Зелевинский, В.Г. Сборник задач по теории относительности и гравитации / В.Г. Зелевинский - Новосибирск: Сибирское университетское издательство, 2002.
33. Давыдов, А.С. Квантовая механика. / А.С. Давыдов. – М.: Наука, 1973. – 703 с.
34. Боум, А. Квантовая механика: основы и приложения / А. Боум. – М.: Мир, 1990. – 720 с.
35. Мессиа, А. Квантовая механика. т.1 / А. Мессиа. – М.: Наука, 1978. – 478 с.
36. Мессиа, А. Квантовая механика, т.2 / А. Мессиа. – М.: Наука, 1979. – 583 с.
37. Барут, А. Теория представлений групп и ее приложения. т.1 / А. Барут, Р. Рончка. – М.: Мир, 1980. – 455 с.
38. Барут, А. Теория представлений групп и ее приложения. т.2. / А. Барут, Р. Рончка. – М.: Мир, 1980. – 395 с.
39. Галицкий, В.М. Задачи по квантовой механике / В.М. Галицкий, Б.М. Карнаков, В.И. Коган. – М.: Наука, 1981. – 647 с.
40. Ициксон, К. Квантовая теория поля, т.1 / К. Ициксон, Ж-Б. Зюбер. – М.: Мир, 1984. – 448 с.
41. Ициксон, К. Квантовая теория поля, т.2. / К. Ициксон, Ж-Б. Зюбер. – М.: Мир, 1984. – 400 с.
42. Пескин, М. Введение в квантовую теорию поля. РХД / М. Пескин, Д. Шредер. - Москва-Ижевск: R&C Dynamics, 2001. – 784 с.
43. Райдер, Л. Квантовая теория поля / Л. Райдер. – М.: Мир, 1987. – 512 с.
44. Боголюбов, Н.Н. Квантовые поля / Н.Н. Боголюбов, Д.В. Ширков. – М.: Наука, 1980. – 319 с.
45. Брайс, С. Динамическая теория групп и полей / С. Брайс, С. Девитт. – М.: Наука, 1987. – 287 с.
46. Рамон, П. Теория поля: Современный вводный курс / П. Рамон. – М.: Мир, 1984. – 332 с.
47. Весс, Ю. Суперсимметрия и супергравитация / Ю. Весс, Дж. Беггер. – М.: Мир, 1986. – 179 с.
48. Уэст, П. Введение в суперсимметрию и супергравитацию / П. Уэст. – М.: Мир, 1989.
49. Зубарев, Д.Н. Неравновесная статистическая термодинамика / Д.Н. Зубарев. – М.: Наука, 1971. – 414 с.
50. Куни, Ф.М. Статистическая физика и термодинамика / Ф.М. Куни. – М.: Наука, 1981. – 352 с.
51. Зеeman, Дж. Принципы теории твердого тела / Дж. Зеeman. – М.: Мир, 1974. – 472 с.
52. Киттель, Ч. Квантовая теория твердых тел / Ч. Киттель. – М.: Наука, 1967. – 491 с.
53. Васильев, А. Н. Классическая электродинамика [Текст]: краткий курс лекций: учебное пособие для вузов/А. Н. Васильев.-[2-е изд., стер.].-Санкт-Петербург:БХВ-Петербург, 2010.-276 с.(1)
54. К.В. Степаньянц, Классическая теория поля, Москва, Физматлит, 2009, 538 с.
55. Э. Зи, Квантовая теория поля в двух словах, Москва-Ижевск, Изд-во РХД, 2009, 615 с.
56. В.А. Рубаков, Классические калибровочные поля. Бозонные теории, Изд-во Либроком, 2010, 334 с.
57. I.L. Vuchbinder, Elements of Supersymmetric Field Theory, Томск, Изд-во ТГПУ, 2010, 106 с.
58. В.В. Киселев, Квантовая механика, Москва, Изд-во МЦНМО, 2009, 560 с.



### Перечень вопросов к кандидатскому экзамену

1. Принцип действия. Уравнения Лагранжа.
2. Функция Гамильтона, фазовое пространство, фазовая траектория, уравнения Гамильтона.
3. Скобки Пуассона и интегралы движения.
4. Канонические преобразования.
5. Теорема Лиувилля.
6. Уравнение Гамильтона–Якоби.
7. Адиабатические инварианты.
8. Существование максимальной скорости распространения взаимодействий как фундаментальный закон природы. Принцип относительности.
9. События. Интервал между событиями. Классификация интервалов.
10. Световой конус. Причинность в релятивистской теории. Одновременность и одновременность.
11. Собственное время, его физический смысл и вычисление.
12. Преобразования Лоренца, замедление времени, сокращение длины, сложение скоростей.
13. Пространство Минковского, тензоры в пространстве Минковского.
14. Четырехмерная скорость, четырехмерное ускорение.
15. Действие и уравнение движения релятивистской частицы.
16. Энергия и импульс релятивистской частицы, четырехмерный импульс, момент импульса релятивистской частицы.
17. Законы сохранения. Энергия связи и дефект масс.
18. Уравнение движения релятивистской частицы в электромагнитном поле.
19. Движение с постоянным ускорением в релятивистской механике.
20. Вектор-потенциал. Калибровочная инвариантность.
21. Уравнения движения заряда в поле.
22. Движение заряда в постоянных однородных электрическом и магнитном полях.
23. Тензор напряженности поля. Первая пара уравнений Максвелла.
24. Действие для электромагнитного поля.
25. Вектор тока, уравнение непрерывности.
26. Вторая пара уравнений Максвелла.
27. Плотность и поток энергии. Тензор энергии- импульса электромагнитного поля.
28. Инварианты поля.
29. Постоянное электрическое поле. Закон Кулона. Электрическое поле и энергия системы неподвижных зарядов.
30. Мультипольные моменты системы зарядов и ее взаимодействие с внешним полем.
31. Постоянное магнитное поле. Магнитный момент. Теорема Лармора.
32. Электромагнитные волны. Плоская монохроматическая волна, энергия и импульс волны.
33. Спектральное разложение, собственные колебания поля.
34. Поле движущихся зарядов. Запаздывающие потенциалы, их спектральное разложение.
35. Потенциалы Лиенара-Вихерта.
36. Поле системы зарядов на далеких расстояниях.
37. Дипольное и квадрупольное излучение. Излучение малых частот.
38. Излучение при кулоновском взаимодействии. Поле излучения на близких расстояниях.
39. Излучение быстро движущегося заряда.
40. Магнитотормозное излучение.
41. Торможение излучением.

42. Спектральное разложение излучения в ультрарелятивистском случае.
43. Рассеяние волн зарядами. Рассеяние свободными зарядами. Рассеяние волн с малыми и большими частотами.
44. Излучение релятивистского равноускоренного заряда.
45. Многообразия. Кривые, касательный вектор. Тензорные поля.
46. Риманова метрика. Параллельный перенос, геодезические линии.
47. Ковариантные производные, связность, символы Кристоффеля.
48. Тензор кривизны и его свойства, плоские и искривленные пространства.
49. Расхождение геодезических.
50. Движения риманова пространства, векторные поля Киллинга.
51. Интегрирование тензорных полей.
52. Расслоенные пространства.
53. Дифференциальные формы, внешнее умножение, внешний дифференциал
54. Когомология.
55. Интегральные топологические инварианты.
56. Описание гравитационного поля в релятивистской теории. Гравитация как искривление пространства-времени.
57. Интервал в гравитационном поле, собственное время.
58. Действие для частицы в гравитационном поле, уравнения движения массивных и безмассовых частиц.
59. Ньютоновский предел.
60. Уравнения электродинамики в искривленном пространстве-времени.
61. Скалярные и спинорные поля в гравитационном поле.
62. Лагранжиан материи в гравитационном поле, тензор энергии-импульса, локальные и глобальные законы сохранения.
63. Действие гравитационного поля. Вывод уравнений Эйнштейна из принципа наименьшего действия. Космологическая постоянная.
64. Положения теории групп Ли, генераторы, структурные постоянные, связность, экспоненциальное отображение.
65. Группа трехмерных вращений и группа  $SU(2)$ . Алгебра Ли группы  $SU(2)$ . Неприводимые представления группы  $SU(2)$ .
66. Момент количества движения. Собственные значения и собственные функции момента.
67. Спиноры и спин частиц.
68. Перестановки, как наблюдаемые. Группа перестановок. Принцип неразличимости, симметрия волновых функций. Обменное взаимодействие. Статистика Бозе и Ферми.
69. Представление вторичного квантования, операторы рождения и уничтожения бозонов и фермионов, операторы физических величин в представлении вторичного квантования.
70. Общая Теория гравитации с высшими производными.
71. Калибровочная инвариантность уравнений Эйнштейна и калибровочные (координатные) условия.
72. Слабые гравитационные волны.
73. Вывод ньютоновского закона всемирного тяготения.
74. Решение Шварцшильда уравнений Эйнштейна.
75. Траектория частиц и световых лучей в центрально-симметричном гравитационном поле, классические наблюдаемые эффекты общей теории относительности.
76. Черные дыры.
77. Крупномасштабная структура Вселенной, однородность и изотропность.
78. Открытая, замкнутая и квазиевклидова модели Фридмана.



79. Постоянная Хаббла, космологическое красное смещение. Расширение Вселенной.
80. Стандартная модель ранней Вселенной.
81. Принцип суперпозиции в квантовой механике.
82. Динамические переменные и наблюдаемые. Одновременная измеримость.
83. Представления векторов состояния и наблюдаемых.
84. Квантовые скобки Пуассона, каноническое квантование.
85. Координатное представление, импульсное представление.
86. Шредингеровская и гейзенберговская форма уравнений движения.
87. Соотношение неопределенности, процесс измерения, принцип дополнительности.
88. Чистые и смешанные состояния, матрица плотности и уравнение фон Неймана.
89. Симметрия и квантовая механика. Вращения и внутренние степени свободы.
90. Основная теория рассеяния в поле центральной симметрии (спин 0 и 1/2). Условие унитарности.
91. Оптическая теорема. Теорема детального баланса.
92. Борновское приближение.
93. Рассеяние тождественных частиц.
94. Рассеяние на кулоновском потенциале.
95. Упругое рассеяние при наличии неупругих процессов.
96. Неупругое рассеяние медленных частиц. Формула Брейта-Вигнера.
97. Группа Лоренца и группа  $SL(2, C)$ . Неприводимые представления группы Лоренца.
98. Алгебра Ли группы Пуанкаре. Операторы Казимира группы Пуанкаре.
99. Построение неприводимого унитарного представления группы Пуанкаре.
100. Массивные неприводимые представления группы Пуанкаре. Безмассовые представления группы Пуанкаре.
101. Релятивистские поля. Понятие релятивистского волнового уравнения. Релятивистское волновое уравнение для скалярного поля.
102. Релятивистское волновое уравнение для спинорного поля (уравнения Вейля и Дирака).
103. Релятивистское волновое уравнение для векторного поля (уравнения Максвелла и Прока).
104. Уравнение Паули-Фирца.
105. Принцип действия в теории поля и уравнения движения.
106. Глобальные симметрии классических полей. Теорема Нётер.
107. Тензор энергии-импульса. Тензор момента импульса.
108. Модели теории скалярного поля. Лагранжиан скалярного поля.
109. Модели векторного поля.
110. Модель взаимодействующих скалярных, спинорных и электромагнитных полей.
111. Поля Янга-Миллса.
112. Калибровочная формулировка гравитации.
113. Принцип канонического квантования. Процедура канонического квантования в теории поля.
114. Каноническое квантование свободного вещественного скалярного поля. Фоковский базис.
115. Операторы энергии-импульса и момента импульса свободного вещественного скалярного поля.
116. Квантование свободного комплексного скалярного поля.
117. Квантование электромагнитного поля.
118. Квантование свободного спинорного поля.
119. Представление матричного элемента оператора эволюции функциональным интегралом.



120. Оператор эволюции в представлении Баргмана-Фока.
121. Матрица рассеяния. Функции Грина.
122. Производящий функционал функций Грина. Пропагатор скалярного поля.
123. Производящий функционал матрицы рассеяния.
124. Функциональные интегралы и их свойства.
125. Представление производящего функционала функций Грина функциональным интегралом.
126. Ряд теории возмущений для функций Грина и фейнмановские диаграммы.
127. Фейнмановские диаграммы в импульсном представлении.
128. Связные функции Грина. Вершинные функции Грина.
129. Петлевое разложение.
130. Алгебра и анализ с антикоммутирующими числами.
131. Производящий функционал свободных функций Грина спинорного поля.
132. Производящий функционал свободных функций Грина электромагнитного поля.
133. Диаграммная техника в квантовой электродинамике.
134. Понятие о калибровочных теориях общего вида.
135. Теория антисимметричного тензорного поля второго ранга.
136. Калибровочная инвариантность и физические величины. Функциональный интеграл для калибровочных теорий.
137. Духи Фаддеева-Попова.
138. BRST-симметрия.
139. Фейнмановские диаграммы в теории поля Янга-Миллса.
140. Фейнмановские диаграммы в эйнштейновской гравитации.
141. Эффективное действие в калибровочных теориях и тождества Уорда.
142. Понятие о классическом вакууме.
143. Спонтанное нарушение глобальной симметрии.
144. Свойства теории со спонтанным нарушением симметрии и теорема Голдстоуна.
145. Спонтанное нарушение симметрии в калибровочных теориях и механизм Хиггса.
146. Спонтанное нарушение симметрии в электрослабой теории.
147. Расходимости фейнмановских диаграмм. Регуляризация фейнмановских диаграмм.
148. Вычитательная процедура и контрчлены: однопетлевые и двухпетлевые диаграммы.
149. Индекс расходимости. Перенормируемые и неперенормируемые теории. Условия нормировки.
150. Уравнения ренормализационной группы. Асимптотическая свобода.
151. Супералгебры и супералгебры Ли.
152. Супергруппа Пуанкаре и ее неприводимые представления, супермультиплеты.
153. Суперпространство и суперполе.
154. Генераторы суперсимметрии и суперковариантные производные.
155. Киральные и общие суперполя, компонентный состав.
156. Модель Весса-Зумино.
157. Суперсимметричная теория поля Янга-Миллса.
158. Теория возмущений в суперпространстве, суперпропагаторы, суперграфы.
159. Теорема о неперенормировке.
160. Лагранжиан супергравитации.
161. Статистический ансамбль. Функция распределения. Уравнение Лиувилля.

162. Микроканоническое, каноническое и большое каноническое распределения Гиббса.
163. Статистический оператор.
164. Микроканонический, канонический и большой канонический ансамбли Гиббса.
165. Статистический интеграл и статистическая сумма.
166. Температура, давление, работа, количество теплоты.
167. Первый и второй законы термодинамики.
168. Термодинамические потенциалы.
169. Обратимые и необратимые процессы.
170. Принцип Ле-Шателье.
171. Теорема Нернста.
172. Системы с переменным числом частиц.
173. Вывод термодинамических соотношений из статистических ансамблей.
174. Распределение Максвелла. Распределение Больцмана.
175. Уравнения состояния классического идеального газа. Барометрическая формула.
176. Распределение Бозе-Эйнштейна.
177. Распределение Ферми-Дирака.
178. Уравнения состояния идеальных квантовых газов.
179. Вырожденный ферми-газ, теплоемкость вырожденного электронного газа.
180. Бозе-Эйнштейновская конденсация.
181. Фононный газ, статистика равновесного излучения.
182. Вириальное разложение.
183. Формула Ван-дер-Ваальса.
184. Приближение Дебая Хюккеля для плазмы.
185. Фазовые переходы I и II рода.
186. Формула Клайперона-Клаузиуса.
187. Теория Ландау фазовых переходов II рода.
188. Распределение Гаусса для флуктуаций.
189. Флуктуации термодинамических величин, флуктуации в идеальных газах.
190. Флуктуационно-диссипационная теорема.
191. Неравновесная функция распределения.
192. Иерархия времен релаксации и сокращенное описание.
193. Уравнение Фоккера-Планка.
194. Уравнение Больцмана, H-теорема Больцмана.
195. Вывод уравнений газовой динамики из уравнения Больцмана.
196. Цепочка уравнений ББГКИ, вывод уравнения Больцмана из цепочки уравнений для корреляционных функций.
197. Прямая и обратная решетка кристалла.
198. Структура электронных зон в кристаллах.
199. Классификация твердых тел на основе энергетического спектра одноэлектронных состояний.
200. Колебания решетки. Фононы. Теплоемкость твердых тел по Дебаю. Фонон-фононные взаимодействия. Электрон-фононные взаимодействия.
201. Теплопроводность диэлектриков. Обменное взаимодействие. Гамильтониан Гейзенберга. Спиновые волны.
202. Намагниченность. Фазовый переход ферромагнетик- парамагнетик.
203. Основные свойства сверхпроводников. Куперовские пары. Теория Бардина-Купера-Шриффера. Уравнение для щели в спектре.

Программа кандидатского экзамена составлена в соответствии с:

«Номенклатурой специальностей научных работников», утвержденной приказом Минобрнауки России от 25.02.2009 № 59 (в ред. Приказов Минобрнауки РФ от 11.08.2009 № 294, от 10.01.2012, № 5); Программой кандидатских экзаменов по специальным дисциплинам, утвержденной приказом Минобрнауки России 19 октября 2007 г., регистрационный № 10363); Паспортом научной специальности, разработанным экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства в связи с утвержденным приказом Минобрнауки России от 25 февраля 2009 г. № 59 Номенклатуры специальностей научных работников от 11 ноября 2011 года).

Программа кандидатского экзамена составлена:


д.ф.-м.н., профессор,

зав. кафедрой теоретической физики  И.Л. Бухбиндер

Программа кандидатского экзамена утверждена на заседании кафедры теоретической физики протокол № 2 от 6 февраля 2015 года.

Зав. кафедрой теоретической физики

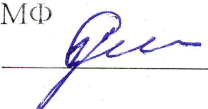
д.ф.-м.н.

 И.Л. Бухбиндер

Программа кандидатского экзамена одобрена учебно-методической комиссией физико-математического факультета протокол № 5 от 19 февраля 2015 года.

Председатель учебно-методической комиссии ФМФ

д.п.н, к.ф.-м.н., профессор КОФ

 З.А.Скрипко